Roger W. Sperry/Bruno Preilowski

1972

Die beiden Gehirne des Menschen

Trotz äußerlicher Gleichheit besitzt jede Hemisphäre des Großhirns eigene Wahrnehmungen und spezielle Fähigkeiten und sogar ein eigenes Bewußtsein.

Ebenso wie die linke und rechte Niere, die linke und rechte Lunge, die beiden Augen und Ohren, so scheinen auch die linke und die rechte Hirnhemisphäre als spiegelbildliche Duplikate angelegt zu sein. Beide Hirnhälften gleichen sich anscheinend in der anatomischen und physiologischen Ausstattung. Nach Verlust einer Hemisphäre im Kindesalter kann die andere einen großen Teil der Funktionen übernehmen. Zwar kommt es auf der einen Seite zu einem Verlust der Gesichtsfeldhälfte und zu einer Ungeschicklichkeit der Extremitäten einer Körperhälfte, aber die Betroffenen bleiben dessenungeachtet wahrnehmende, denkende, fühlende und mitteilsame Personen. Sie können nahezu normale Intelligenz besitzen.

Die Tatsache, daß die meisten Funktionen der Hirnrinde in beiden Gehirnhälften angelegt sind, ist von der Hirnforschung seit den frühen fünfziger Jahren im sogenannten Split-brain-Präparat für Experimente herangezogen worden. Bei dieser Methode bleibt dem Versuchstier eine der Hemisphären zum Erhalt der normalen Funktionen, während die andere isoliert für wissenschaftliche Untersuchungen zur Verfügung steht. Auf diese Weise kann die eine Hälfte als Kontrolle und zum Vergleich der Experimente, die mit der anderen Hemisphäre durchgeführt werden, benutzt werden.

Trennung der Hirnhälftenverbindungen ohne Folgen?

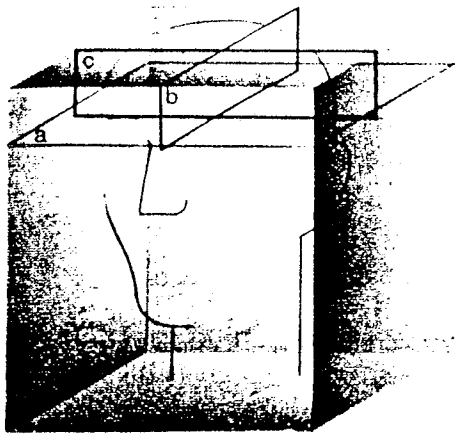
Bei Säugetieren scheinen die beiden Hirnhälften die gleichen Fähigkeiten zu besitzen. Bisher fanden wir nur beim Menschen eindeutige Anzeichen einer angeborenen Asymmetrie der Hemisphären in bezug auf die Hirnfunktionen. Neue Einsichten über Qualität und Ausmaß der Spezialisierung der Gehirnhälften wurden in den letzten Jahren aus Versuchen mit bestimmten Hirnoperierten gewonnen. Bei diesen Personen wurden die Nervenfaserbündel, die die rechte und linke Gehirnhälfte verbinden, durchschnitten. Neben kleineren Verbindungen der Commissura anterior und hippocampi wird vor allem der Balken, Corpus callosum, das größte Nervenfaserbündel des Gehirns, durchtrennt. Diese Operation wurde zum erstenmal in den dreißiger Jahren bei Epileptikern versucht. Man wollte dadurch das Übergreifen der Anfälle von der geschädigten auf die andere Hirnhälfte verhindern, wenn dies medikamentös nicht mehr zu beeinflussen war. In abgeänderter Form und mit besseren therapeutischen Erfolgen wurde diese Operationstechnik von Philip Vogel und seinen Mitarbeitern am White Memorial Medical Center in Los Angeles wieder eingeführt. Trotz des massiven anatomischen Eingriffs ist das Beeindruckendste, daß bei den Patienten, diesen sogenannten Split-brain-Personen, scheinbar keine bleibenden Nebenerscheinungen bemerkbar sind. Diese verblüffende Normalität gab den Anstoß zu unseren Untersuchungen. Das Fehlen jeglicher Symptome nach chirurgischer Durchtrennung des Balkens oder bei angeborenem Balkenmangel war in den vierziger und fünfziger Jahren zu einer Herausforderung für die Hirnforscher geworden.

Split-brain-Personen

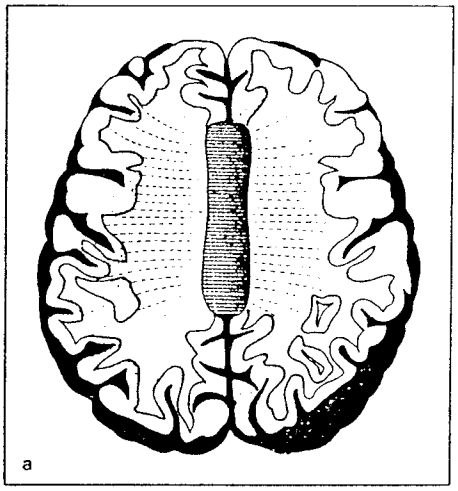
Inzwischen können wir bei den anscheinend normalen Split-brain-Personen eine Reihe von Integrationsdefekten zwischen den beiden Hemisphären

aufzeigen. Die Symptome lassen sich vereinfacht so beschreiben: Nach der operativen Trennung besitzt jede Hemisphäre ihre eigenen unabhängigen Erkenntnisfunktionen. Jede Gehirnhälfte hat ihre eigenen Wahrnehmungen, Empfindungen, Ideen, Lernerfahrungen und Erinnerungen – kurz ihre eigene „geistige Welt". Diese Aufteilung in zwei kognitive Welten verrät sich in verschiedenen Testsituationen. So sind Split-brain-Personen nicht in der Lage, Dinge wiederzuerkennen, die sie gerade erst gesehen haben, wenn die visuelle Darbietung isoliert in verschiedenen Gesichtsfeldhälften erfolgt. Es fehlt der normale Informationsaustausch zwischen den Wahrnehmungen der beiden Hemisphären (siehe Abbildung 7). Ebenso werden Gegenstände, die mit der rechten Hand gefühlt werden, mit der linken Hand nicht wiedererkannt und umgekehrt. Duftstoffe, die durch die eine Nasenöffnung gerochen werden, können nicht mehr identifiziert werden, wenn sie der anderen Nasenöffnung dargeboten werden.

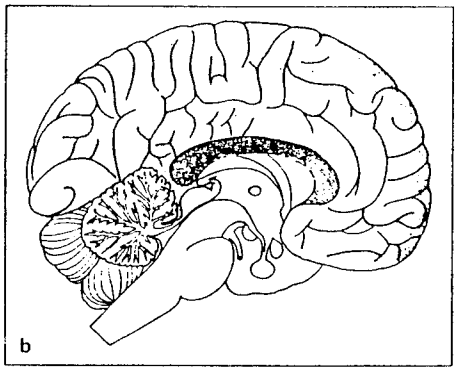
Soll Bildmaterial, jeweils in eine der beiden Gesichtsfeldhälften projiziert, von Split-brain-Personen mit Worten beschrieben werden, entsteht der Eindruck, daß Gegenstände in der linken Gesichtsfeldhälfte scheinbar nicht wahrgenommen wurden. Anders verläuft das Experiment, wenn man die Versuchsperson bittet, den gesehenen Gegenstand nicht verbal zu beschreiben, sondern unter mehreren Abbildungen zu finden oder durch Fühlen mit der linken Hand aus einer Reihe von Gegenständen herauszusuchen. Dann zeigt sich deutlich, daß das abgebildete Objekt, von dem die Person vorher behauptet, es gar nicht gesehen zu haben, doch klar wahrgenommen wurde. Sie wählt das richtige Objekt, besteht aber trotzdem darauf, daß sie nicht weiß, was sie nun in der linken Hand hält. Der Grund dafür ist, daß die Hirnhälfte, die das Bild sah und den Gegenstand fühlte, in diesem Fall die rechte Hemisphäre, keine Sprache besitzt und deshalb nicht antworten konnte. Dagegen hatte die linke Hemisphäre, die Sprachvermögen besitzt,



2



3



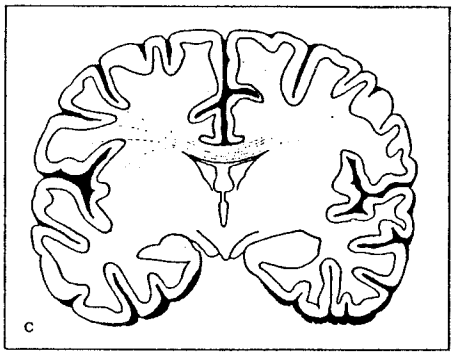
4

den Gegenstand weder gesehen noch gefühlt, da er im anderen Gesichtsfeld und der anderen Hand dargeboten worden war.

Jede Gehirnhälfte hat unabhängige Funktionen

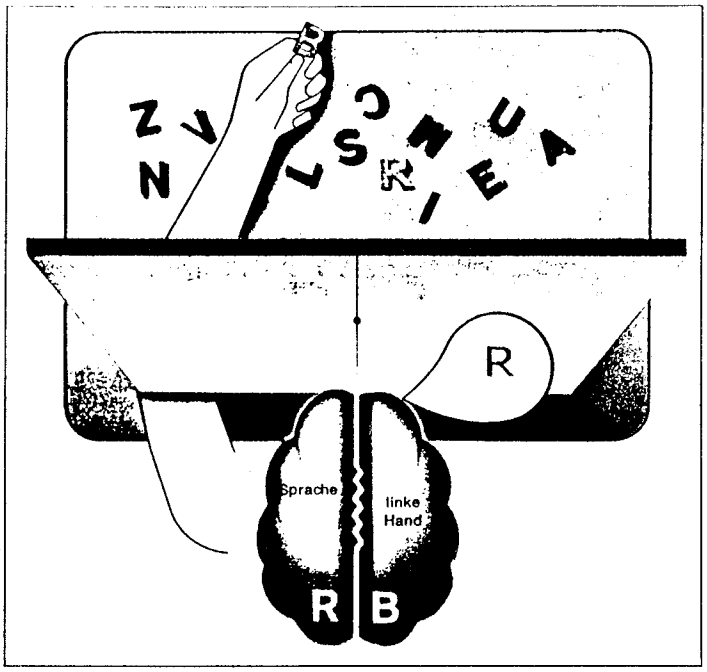
Man sieht also, daß diese Personen nicht nur zwei „innere Welten" von Erfahrungen besitzen, sondern auch, daß sie nur über die Erfahrungen einer Hemisphäre verbal Auskunft geben können. Dies ist gewöhnlich die Erfahrung der linken Gehirnhälfte, da die Sprachfunktionen normaler Rechtshänder in dieser Hälfte lokalisiert sind. Die vom Sprachzentrum abgetrennte rechte Hemisphäre kann solche Dinge, die sie im linken Gesichtsfeld sieht, mit der linken Hand fühlt oder durch die rechte Nasenhöhle riecht, weder benennen noch irgendwie verbal beschreiben. Das getrennte Bewußtsein beider Hemisphären in diesen Patienten tritt klar in Erscheinung, wenn man sie mit beiden Händen gleichzeitig eine Aufgabe

Das Gehirn ist in seiner räumlichen Struktur ziemlich kompliziert. Das Zusammenfügen aus den Schnitten dreier Ebenen (Horizontalebene a, Sagittalebene b und Frontalebene c) zu einem räumlichen Gebilde stellt einige Anforderungen an das Vorstellungsvermögen. Diese spezielle Fähigkeit ist Domäne der rechten Hirnhälfte. Die Verarbeitung dieser Bildunterschrift geschieht jedoch bei den meisten Lesern mit der linken Hemisphäre (Sitz des Sprachzentrums). Beide Hemisphären sind durch den sogenannten Balken (blau, Bilder 3, 4, 5) verbunden. Die Linien sollen den ungefähren Verlauf der Nervenfasern von Hirnrinde zu Hirnrinde symbolisieren. In der Hirnrinde, der sogenannten grauen Substanz, enden die Nervenfasern, die von den Sinnesorganen ausgehen. Hier findet also die Wahrnehmung statt. Außerdem geht die willkürliche Muskelbewegung von der Hirnrinde aus. Die Gesamtheit der Leitungsbahnen zwischen Hirnrinde, Sinnesorganen, Muskulatur und den beiden Hemisphären bildet die sogenannte weiße Substanz des Gehirns.

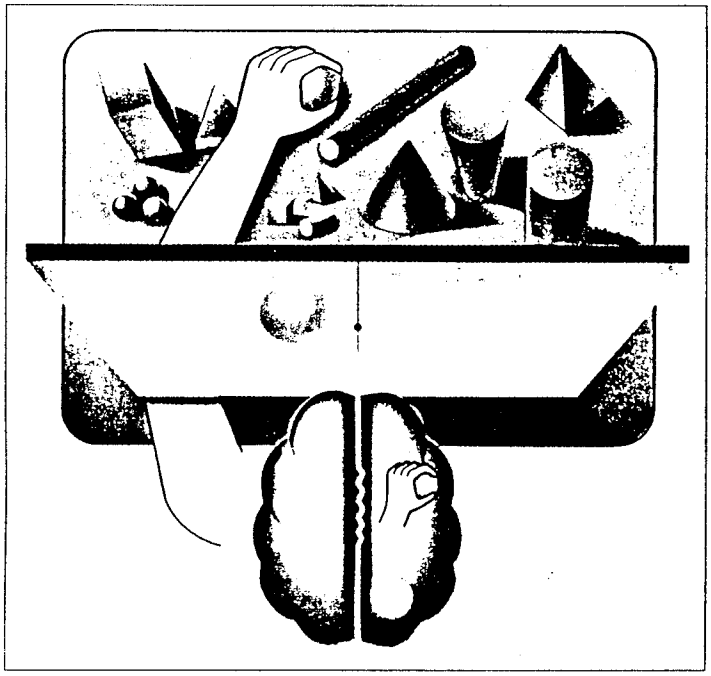


5

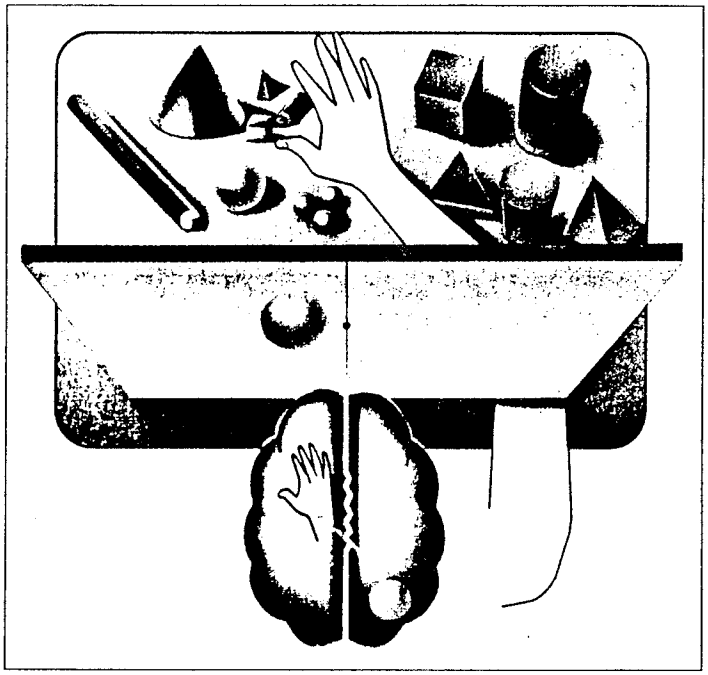
6



7



8



9

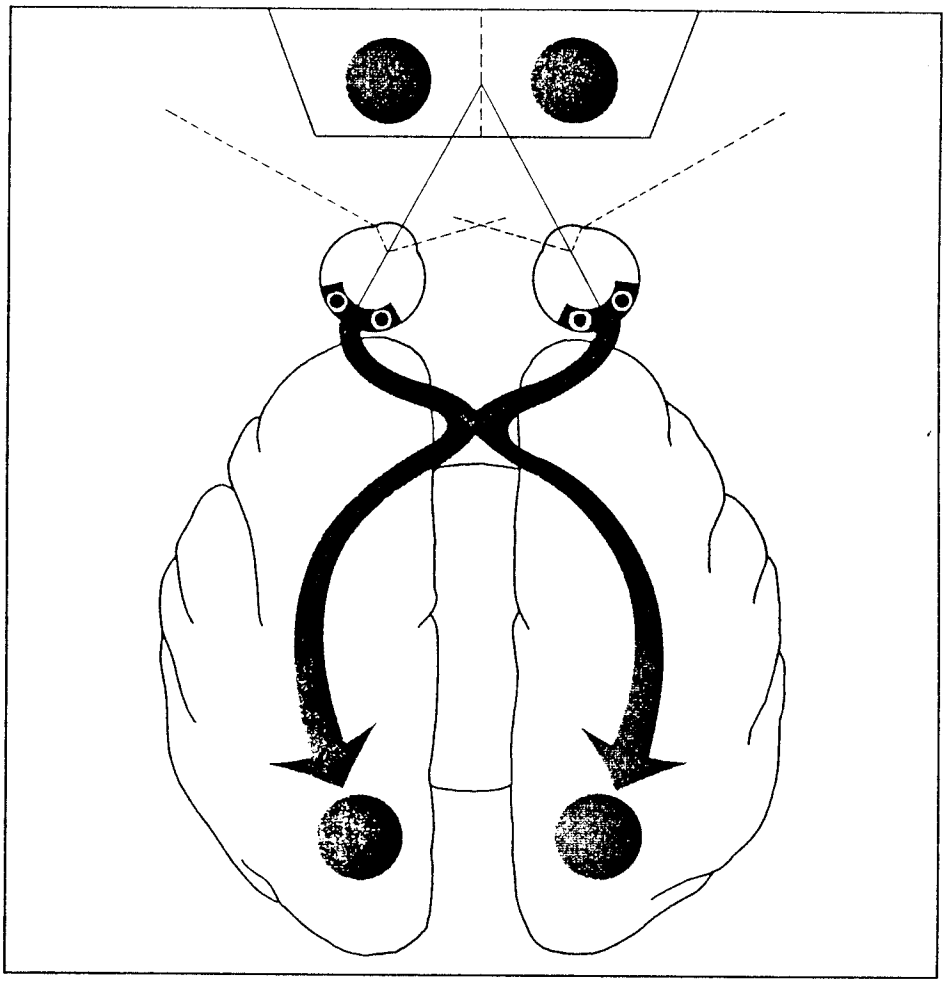
lösen läßt (zum Beispiel mit geschlossenen Augen zwei vorher gefühlte Objekte aus einer Reihe von anderen Gegenständen herauszufinden). Wir beobachten dann, daß beide Hände gleichzeitig unabhängig voneinander suchen. Wenn die eine Hand zufällig das von der anderen gesuchte Objekt ergreift, tastet sie den Gegenstand ab und legt ihn als „nicht gesucht" beiseite. Es ist tatsächlich so, als ob zwei Personen ohne Kommunikation vor sich hin arbeiten.

Die Testperson auf dem Foto (Bild 6) blickt starr auf den kleinen Fixpunkt in der Leinwandmitte. Die auf dem Tisch liegenden Gegenstände kann sie nicht sehen, aber mit den Händen tasten. Auf die Leinwand werden nun nacheinander kurzzeitig die Buchstaben B und R projiziert (Bild 7). Wie schematisch angedeutet, liegt die Sprachfunktion etwa in der Mitte der linken Hirnrinde. Die Steuerung der Bewegung der linken Hand ist ungefähr in der Mitte der rechten Hirnrinde lokalisiert. Die Pfeile (Bild 8 und 9) zeigen die intakten und die durchtrennten Nervenbahnen zwischen den Gebieten der Hirnrinde bei den Split-brain-Personen. Wahrnehmungen der rechten Hemisphäre, also optische Reize im linken Gesichtsfeld („B", Kugel), werden bei Split-brain-Personen nicht zum Sprachzentrum oder zum Steuerzentrum der rechten Hand weitergeleitet. Mit der linken Hand jedoch erkennt die Testperson prompt den vermeintlich nicht gesehenen Gegenstand.

Konflikte und Behinderungen, die man in Personen mit zwei voneinander getrennten Kontrollsystemen erwartet, werden durch eine Vielzahl von vermittelnden Faktoren verhindert. Die Hauptnervenbahnen sind zwar so angelegt, daß jede Gehirnhälfte hauptsächlich für die gegenseitige Körperhälfte zuständig ist, aber es gibt auch einige ungekreuzte, sensorische und motorische Nervenbahnen, die jeder Hirnhälfte immerhin eine gewisse Kontrolle über den gesamten Körper ermöglichen. Da beide Hemisphären zu einer Person gehören, sind außerdem der Verschiedenheit der Erfahrungen enge Grenzen gesetzt. Die Netzhaut des Augapfels steht mit beiden Hemisphären in Verbindung. Wenn also eine Gehirnhälfte die Augen auf ein Ziel richtet, sieht die andere Hemisphäre mit. Wahrscheinlich können vermittelnde Mechanismen noch durch Lernen weiter ausgebildet werden. Dies gilt besonders für junge Patienten. Sechs Jahre nach der Operation besitzt ein Patient, der mit 13 Jahren operiert wurde, die Fähigkeit, viele interhemisphärische Aufgaben zu lösen, an denen er während des ersten Jahres nach der Operation gescheitert war.

Balkenmangel, eine Zufallsentdeckung

Zu welchem Extrem eine solche funktionelle Kompensation führen kann, sieht man in den äußerst seltenen Fällen, bei denen von Geburt an kein Balken vorhanden ist, das Gehirn sich aber ansonsten normal entwickelte. In der gesamten medizinischen Literatur sind nur 17 derartige Fälle beschrieben. Vor einiger Zeit wurde in Los Angeles bei einer 19jährigen Studentin ein angeborener vollständiger Balkenmangel entdeckt. Bei Untersuchung mit Tests, wie sie bei den Split-brain-Personen verwendet werden, zeigte sie, genau wie normale Kontrollpersonen, keinerlei Schwierigkeiten. Wir können nur vermuten, daß es ihr durch Erfahrung und Übung gelungen ist, die Funktionen der ungekreuzten Nervenbahnen so zu erweitern, daß jede Hemisphäre die volle Kontrolle übernehmen kann. Bei einem klinischen Test, in dem nacheinander



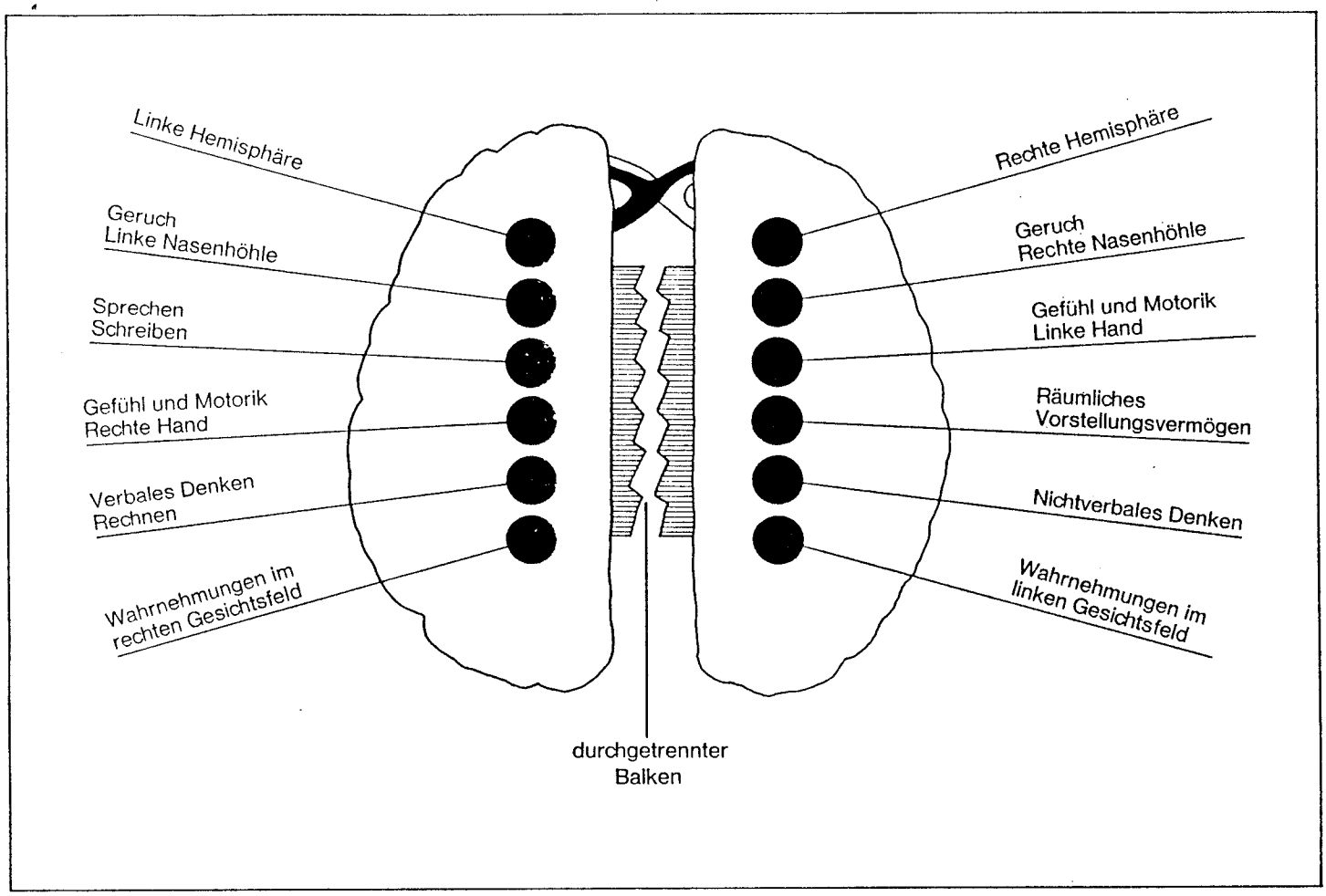
10

erst die eine und dann die andere Hemisphäre vorübergehend betäubt wurde, fand man, daß bei ihr beide Hirnhälften Sprachfähigkeiten besitzen. Dies beweist die funktionelle Plastizität des noch wachsenden und sich entwickelnden Gehirns.

Dieser Fall zeigt jedoch auch, daß die Ausbildung von sprachlichen und nichtsprachlichen Funktionen in jeder Hemisphäre nicht ohne Verluste möglich war. Die Studentin blieb nämlich mit ihrem räumlichen Vorstellungsvermögen und mit der manuellen Geschicklichkeit unter dem Durchschnitt. Dagegen lagen ihre Leistungen bei verbalen Denkaufgaben über der Norm. Die sprachlichen Fähigkeiten scheinen sich also auf Kosten der nichtsprachlichen ausgedehnt zu haben. Wir kommen damit zum Problem der Spezialisierung beider Hemisphären. Sie scheint beim Menschen erblich angelegt zu sein und mit der Bevorzugung einer Hand zusammenzuhängen.

Schema 10 zeigt den Weg eines optischen Reizes. Die violette Kugel im linken Gesichtsfeld projiziert sich in beiden Augen auf die rechte Netzhaut. Die Lichtenergie wird dort in nervöse Erregung umgewandelt und über gekreuzte und ungekreuzte Nervenbahnen zur Hirnrinde in der Gegend des rechten Hinterhauptes geleitet. Hier befinden sich also die optischen Wahrnehmungen. Entsprechend werden optische Reize des rechten Gesichtsfeldes in der linken Hemisphäre wahrgenommen. Von diesen sogenannten optischen Rindengebieten wiederum ziehen Nervenfasern kreuz und quer zu den verschiedenen Hirnzentren. Da die Kreuzung der Sehnervenbahnen außerhalb der Großhirnhemisphären liegt, bleibt sie also bei einer Trennung beider Hemisphären erhalten.

Schema 11 zeigt die spezifische Dominanz der Einzelhemisphären für bestimmte Wahrnehmungen und Funktionen.



11

Die unterschiedlichen Fähigkeiten beider Hemisphären

Bei den Split-brain-Personen können wir die Leistungen der linken Hemisphäre mit denen der rechten direkt vergleichen. Was kann die linke Hemisphäre? Nur sie ist in der Lage, rechnerische Operationen, die über das Addieren und Subtrahieren von einstelligen Zahlen hinausgehen, auszuführen. Wie bereits erwähnt, kontrolliert sie beim Rechtshänder das Sprechen und Schreiben. Zudem ist sie die aggressivere und beherrschende Hemisphäre. Sie ist für das Erfassen von Einzelheiten, für analytische Denkaufgaben und für die sprachliche Kommunikation verantwortlich.

Im Vergleich dazu erscheint die rechte Hemisphäre stumm und schreibunfähig. Sie besitzt keine Sprache, um uns mitzuteilen, was sie denkt und erlebt. Darum ist sie auch für Tests schwer zugänglich. Sie bleibt passiv und der linken Hirnhälfte untergeordnet. Einige Wissenschaftler argumentieren, daß nur die linke Hemisphäre Bewußtsein besitzt und daß die rechte Hirnhälfte in einer Art Reflex oder Trance mithandeln muß. Tatsächlich deuten aber unsere Versuchsergebnisse darauf hin, daß auch diese Hirnhälfte sehr wohl Bewußtsein besitzt. Beide Hemisphären können sich sogar gleichzeitig mit Dingen befassen, die miteinander im Konflikt stehen. Aus den nichtverbalen Reaktionen der rechten Hemisphäre schließen wir, daß sie über Wahrnehmungen, Ideen, Gefühle, Lernvermögen und Einsicht von charakteristischem menschlichem Niveau verfügt. In begrenztem Umfang kann die rechte Hemisphäre des Gehirns sogar schreiben.

Überlegenheit der rechten Hemisphäre?

Was sich im Lauf der menschlichen Entwicklung, während die dominante Gehirnhälfte ihre Sprachfunktion ausbaute, in der nichtdominanten Hemisphäre getan hat, ist immer noch eine unbeantwortete Frage. Obwohl die linke Hemisphäre sich in den meisten Split-brain-Untersuchungen überlegen zeigte, gibt es doch einige Aufgaben, die die rechte Hirnhälfte eindeutig besser löst.

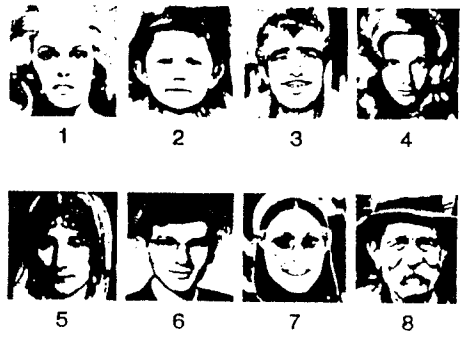
Diese Aufgaben beziehen sich auf das Erfassen und Verarbeiten von räumlichen Formen und Verhältnissen und haben nichtverbalen Charakter. Beispielsweise mußte der fehlende Teil eines visuell dargebotenen Musters aus einer Reihe von erhabenen Reliefstücken herausgefunden werden. Oder man ließ die Versuchsperson mit beiden Händen bei verbundenen Augen Blöcke fühlen. Danach wurden die Seitenflächenpläne dieser und anderer Objekte visuell dargeboten. Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, auf diejenigen Seitenflächenpläne zu deuten, die mit den gefühlten Blöcken übereinstimmten. Auch bei dieser räum-

lichen Transformationsaufgabe zeigte sich die rechte Hirnhälfte weitaus überlegen. Sie kann abstrakte Formen besser erkennen und reproduzieren. Bildhaft läßt sich sagen: Die linke Hemisphäre kann vor lauter Bäumen den Wald nicht sehen, während die rechte umgekehrt zwar den Wald, nicht aber die einzelnen Bäume wahrnimmt. Auch das Zusammensetzen verschiedenfarbiger Würfel nach Vorlage (Mosaiktest) gelingt der rechten Hirnhälfte besser.

Konkurrenz zwischen linker und rechter Hirnhälfte

Bei der Betrachtung eines Gegenstandes wandern die Augen hin und her, was aufgrund der Wahrnehmungskonstanz zu zwei kompletten Darstellungen des Gegenstandes führt – ein Bild in jedem der voneinander getrennten Hirnteile. Welchen Vorteil bringt eine solche Verdopplung, die natürlich auch für das normale Gehirn zutrifft? Wenn, wie vermutet, beide Hirnhälften ihre Wahrnehmungen auf verschiedene Weise analysieren, dann beginnt diese Verdopplung verständlich zu werden. Im normalen Gehirn sind die Beiträge beider Hemisphären zum Erlebnis einer Wahrnehmung so vermischt, daß es fast unmöglich scheint herauszufinden, welchen Beitrag die einzelne Hemisphäre leistet. Deshalb wurden spezielle Tests entwickelt, um rivalisierende Prozesse mit gleichzeitigen, für die rechte und linke Hirnhälfte spezifischen Reaktionen hervorzurufen. Dabei wurde Split-brain-Personen Bildmaterial so angeboten, daß gleichzeitig im rechten und linken Gesichtsfeld widersprüchliche Dinge gesehen wurden. So erreichte man, daß beide Hirnhälften zur gleichen Zeit und im gleichen räumlichen Feld verschiedene Dinge wahrnahmen, was im normalen Gehirn nicht vorkommt. So wurden den Versuchspersonen Porträtfotos gezeigt, die aus zwei verschiedenen Gesichtshälften zusammengesetzt waren. Die Split-brain-Personen, deren eine Hirnhälfte nicht weiß, was in der anderen vorgeht, ahnten nichts vom wahren Charakter der Bilder, auch wenn sie gezielt gefragt wurden, ob ihnen nicht irgend etwas am letzten Bild aufgefallen sei. Das Gesehene mußte dann entweder beschrieben oder auf einer Tafel mit mehreren vollständigen Fotos wiedererkannt werden.

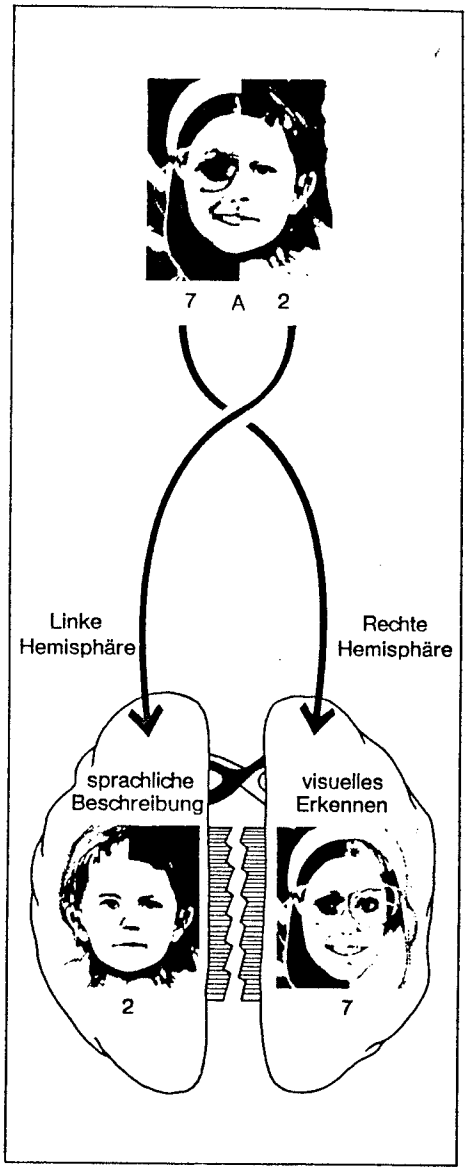
Die Ergebnisse zeigen, daß die Dominanz einer Hirnhälfte je nach Art der Teststimuli variiert und außerdem von der geforderten Reaktion abhängig ist. Wieder bestätigte sich die oben angeführte Aussage: Waren verbale Prozesse beteiligt, so wurde die Reaktion



12

Mit den oben im Schema gezeigten zusammengesetzten Fotos kann man bei den Split-brain-Personen gleichzeitig widersprüchliche Wahrnehmungen erzeugen. Die Versuchspersonen ahnen nichts von der Montage des Doppelbildes. In der Testsituation (Schema 13) gibt die Testperson an, ein Kind gesehen zu haben. Sie spricht also von Foto 2. Wird sie jedoch aufgefordert, aus den normalen Fotos 1–8 das vorher gesehene Foto mit der linken Hand herauszufinden, tippt sie auf Foto 7, denn die für die linke Hand zuständige Hemisphäre hat ja nur das Foto 7 wahrgenommen.

von der linken Hemisphäre beherrscht. Sie reagiert so, als ob sie nur den rechten Teil (den allerdings vollständig) der Abbildungen gesehen hätte. Wenn jedoch Gesichter gezeigt werden oder Formen direkt verglichen werden müssen und die Auswahl mit der linken oder rechten Hand angezeigt werden kann, dominiert die rechte Hemisphäre, das heißt, der linke Teil des Bildes wird wiedererkannt. Dies gilt



13